

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky
Katedra elektroniky

Větrné elektrárny

Wind Power Stations

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Vít Hudeček

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Větrné elektrárny
Wind Power Stations

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky větrné energie
2. Větrné elektrárny a jejich provozování
3. Ukázka vyhodnocení naměřených dat

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Rychetník V., Pavelka J., Janoušek J.: Větrné motory a elektrárny, ČVUT, Praha, 1997
2. Cetkovský S., Frantál B., Štekl J.: Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí, AVČR, Brno, 2010
3. Další literatura podle pokynu vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“



4.05.2012

Podpis studenta:

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D., zejména za umožnění zpracovávat toto téma, jehož realizace mě velice zaujala. Také bych chtěl rád poděkovat Ing. Miloši Šikulovi za jeho konzultace a pomoci při realizaci této práce.



4.05.2012

Podpis studenta:

Abstrakt

Cílem práce „Větrné elektrárny“ je vytvořit ucelený přehled o funkci a rozdělení větrných elektráren v současné době. Ohlédnutí do historie, použití VtE a postupné zdokonalování jednotlivých částí. Nastínění problematiky použití a výstavby ekologických obnovitelných zdrojů a jejích výhody. Dále pak rozdělení na jednotlivé fragmenty a následný popis, jejích součástí. V práci je taky zmíněno vliv VtE na životní prostředí, především působení na živočichy a lidi. V závěru práce, pak nalezneme srovnání předpokladu větrného potenciálu, oproti skutečnosti na vybrané lokalitě a jejich grafické vyhodnocení.

Klíčová slova

Větrné elektrárny, obnovitelné zdroje energie, věž, gondola, rotor, generátor, asynchronní, synchronní, odporové, vzlakové, energie.

Abstract

The aim of the work "Wind Power Stations" is a comprehensive overview of the function and distribution of wind power plants at present. Looking back into history, the use of VTE and the gradual improvement of the individual parts. Outlines the problems of ecological construction and use of renewable resources and its benefits. Furthermore, the distribution of the fragments and the subsequent description of its components. The paper also mentioned the influence of VTE on the environment, especially effects on wildlife and humans. In conclusion, we find the comparison provided wind potential, compared to the actual location chosen for their graphic and evaluation.

Keywords

Wind power stations, renewable energy tower, nacelle, rotor, generator, asynchronous, synchronous, resistance, buoyancy, energy.

Seznam použitých symbolů a zkratek

P	[W]	výkon VtE
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota vzduchu
v	[m.s ⁻¹]	rychlost proudění vzduchu
C _p	[-]	účinnost stroje
S	[m ²]	plocha rotoru
M	[Nm]	moment na hřídeli větrného motoru
r	[m]	poloměr vrtule
A	[m ²]	plocha kruhu, ve kterém se otáčí lopatky vrtule
n	[s ⁻¹]	otáčky vrtule

VtE	větrné elektrárny
OZE	obnovitelné zdroje energie
ČR	Česká Republika
CO ₂	oxid uhličitý
SO ₂	oxid siřičitý
tzv.	takzvaný
EU	Evropská Unie
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbine
VAWT	Vertical Axis Wind Turbine
ČHMÚ	Český Hydrometeorologický Ústav
cca	cirka (latinsky: <i>přibližně</i>)
ERÚ	Energetický Regulační Úřad
UFA	Ústav fyziky atmosféry

Obsah

1. Úvod	- 2 -
1.1. Historie VtE	- 2 -
1.2. Potenciál VtE u nás a v zahraničí	- 3 -
2. Vliv na životní prostředí	- 3 -
2.1. Vliv na živočichy	- 3 -
2.2. Vliv na lidi	- 4 -
3. Princip VtE	- 5 -
3.1 Rozdělení z hlediska výkonů	- 5 -
3.2. Přínosy a zápory VtE	- 5 -
4. Rozdělení VtE	- 7 -
4.1. Rozdělení podle typu	- 7 -
4.2. Rozdělení podle aerodynamického principu	- 8 -
4.3. Elektrické generátory	- 9 -
4.4. Regulace výkonu... ..	- 9 -
5. Jednotlivé části VtE	- 10 -
5.1. Věž neboli (stožár)	- 10 -
5.2. Gondola	- 11 -
5.3. Rotor	- 11 -
5.4. Generátor	- 14 -
6. Připojení elektrárny k síti	- 15 -
6.1. Zpětné vlivy a kvalita elektřiny	- 15 -
7. Srovnání předpokladu větrného potenciálu oproti skutečnosti	- 16 -
8. Závěr	- 23 -
Literatura	- 24 -

1. Úvod

Celosvětovým trendem v posledním desetiletí je masivní nárůst výroby obnovitelných zdrojů energie tzv. (OZE). Mají nám pomoci při výrobě elektrické energie a to ekologickou cestou. Nejznámějšími představiteli OZE jsou větrné elektrárny, fotovoltaické elektrárny, vodní nebo termální. Každý má své favority z OZE a odpůrce a je jenom na nás, které si vybereme. Je však jisté, že obnovitelné zdroje energie lidstvo potřebuje, a tak se budeme stále častěji setkávat s jejími ekvivalenty.

Počet lidí na Zemi neustále stoupá, a také stoupají i energetické nároky. Proto je na místě stále více se zabývat otázkou energetiky. Produkce energie z obnovitelných zdrojů je na celém světě jen několik procent. Ostatní požadavky na spotřebu pokrývají tepelné elektrárny, které spalují fosilní paliva a jaderné elektrárny. Ty však nejsou, tak ekologické a ani jejich účinnost není nikterak velká.

Světové zásoby fosilních paliv se kriticky ztenčují a už za několik desetiletí budou vyčerpány. Proto výroba z obnovitelných zdrojů energie bude hrát ještě důležitější roli na trhu z energií. Větrné elektrárny jsou jednou z přijatelných náhrad této produkce. Neustálým zdokonalováním jejich konstrukce a provedení vede ke stále větší účinnosti, a proto v dnešní době hraje větrná energie prim ve výrobě energie z obnovitelných zdrojů.

1.1 Historie VtE

Větrnou energii používá lidstvo od pradávna. Lidé využívali sílu větru k pohánění svých lodí větrných mlýnů nebo jako čerpací zařízení. První písemné záznamy byly nalezeny už ve staré Číně a také Persii[10]. První historická zmínka o postavení větrného mlýna na našem území se datuje do roku 1277 v Praze. Velký rozmach využití větru byl v 16. a v 17. Století, kdy podle odhadů v Čechách stálo okolo 60 tisíc větrných mlýnů[11]. Byl to levný a jednoduchý způsob usnadnění práce.

Jak sám název napovídá, tyto stroje se používaly k mletí obilí. Stejný princip se však používal i ke zpracování cukrové třtiny, k čerpání vody atd. Prvním mužem, který se vážně zabýval myšlenkou vyrábět "pomocí vzduchu" elektřinu, a který zřejmě také, jako první na světě zhotovil větrný motor vyrábějící elektrický proud byl Poul la Cour (1846 - 1908). Bylo to v roce 1891 a vyrobený proud používal pro elektrolýzu ve své škole[10].

Začátek výroby novodobých větrných elektráren v ČR se datuje na konec 80. let minulého století. Jejich rozkvět proběhl v letech 1990–1995, poté však došlo ke stagnaci, třetina ze všech 24 větrných elektráren postavených do roku 1995 patřila do skupiny s nevyhovující nebo vysoce poruchovou technologií, některá z těchto zařízení byla vybudována v lokalitách s nedostatečnou zásobou větrné energie.

V současné době jsou instalovány nové větrné elektrárny, které již pracují na šesti desítkách lokalit v ČR. Jejich celkový instalovaný výkon se během posledního roku zvýšil na 217 MW. Nominální výkon moderních větrných elektráren dosahuje aktuálně běžně 2 MW, velké až 3 MW. Výroba Větrných elektráren je převážně v zemích EU, především v Německu. Na výrobě komponent (hřídele, převodovky, ocelové věže, gondoly, atp.) se čím dál větší mírou podílí i ČR. Některé malé elektrárny se zde vyrábí kompletně, je uvažováno i s výrobou velkých strojů.

1.2 Potenciál VtE u nás a v zahraničí

Například moderní stoje, které dnes využíváme, dosahují vynikajících výsledků v oblasti zvyšování využitelnosti větru. Jelikož v ČR byl rozvoj větrné energetiky zahájen ve srovnání se zeměmi západní Evropy se zpožděním, jsou v projektech u nás již rovnou plánovány nejmodernější stroje. Předstihli jsme tak i tradiční světovou jedničku v této oblasti Německo, jehož větrné elektrárny dosahují využitelnosti přibližně 20 %. Výstavba VtE v Německu probíhá už dvě desítky let a průměrné stáří VtE je tam proto podstatně vyšší a v souvislosti s tím je jejich průměrný výkon nižší.

Celosvětovým trendem a u nás to není jiné je vyrábět elektrickou energii z obnovitelných zdrojů neboli tzv. zelenou energii. To je taková energie, při které se nevyužívá žádné přeměna organické či anorganické látky. Zelená energie je pro každého dostupná a nezatěžuje tolik životní prostředí, jako vypouštění CO₂ a jiných škodlivých látek[2]. Je to energie, se kterou se každý den setkáváme voda, vítr, slunce a geotermální energie. Někteří odpůrci tvrdí, že zde patří i biomasa, ale biomasa je jen energeticky přijatelný prostředek, ale pořád se jedná o termickou přeměnu organických látek, která jak sami víte je pro přírodu škodlivá. Proč vlastně tyto problémy řešíme? Odpověď je jednoduchá ekologické a ekonomické důvody.

Rozvoj ekologických obnovitelných zdrojů (OZE) u nás do roku 2003 nebyl nikterak velký. To se však změnilo vstupem do Evropské Unie v roce 2004, kde podle EU, která je ekologicky laděná doporučuje ČR zvýšit svou produkci z obnovitelných zdrojů do roku 2010 na 12%. ČR se tedy zavázala, že do roku 2010 zvýší svou produkci OZE na 8%. Ještě v roce 2009 odborníci tvrdili, že plán není možné splnit, ale v roce 2010 nastal převrat. Hlavním důvodem byla masová výstavba fotovoltaických elektráren, na které stát dával velké dotace z EU, takže shrnuto a podtrhnuto jsme plán splnili a dokonce jsme ho i předčili a výroba OZE v ČR je 8,3%.

Výroba OZE se stále zvyšuje a nejinak to bude i v roce 2012 bude s produkcí. Výroba energie z OZE především závisí na ekonomických podmínkách. Výstavba těchto zdrojů je velice investičně náročná, ale také výnosy závisí na klimatických podmínkách, které jsou pro nás neznámé. Toto omezení je příčinou, k tak malému instalovanému výkonu OZE. Bohužel za obnovitelné zdroje se musí platit. Zlevňování elektrické energie částečně brání rozvoj obnovitelných zdrojů, kdy provozovatelé distribučních soustav jsou povinni vykupovat tzv. zelenou energii za mnohem vyšší cenu než je skutečná cena za 1 kWh.

2. Vliv na životní prostředí

Větrná energetika neprodukuje tuhé či plynné emise a odpadní teplo, nezatěžuje okolí odpady, ke svému provozu nepotřebuje vodu. Větrná elektrárna nepředstavuje významný zábor zemědělské půdy, minimální jsou i nároky na plochu staveniště. Pro získání většího výkonu je však třeba stavět větrné farmy o obrovských rozlohách (např. 1000 MW větrná farma zabere rozlohu 35 000 km², uhelná nebo jaderná elektrárna o stejném výkonu pouhých několik km²).

Hladina hluku na úrovni 500 m od stroje se pohybuje okolo 35–40 dB, což je zhruba hladina hluku v obývacím pokoji. Agentura ochrany přírody a krajiny uvádí, že les ve vzdálenosti 200 metrů vydává při rychlostech větru 6–7 m/s přibližně stejný hluk jako větrná elektrárna ve stejné vzdálenosti. Povolené hladiny hluku v místě nejbližší budovy jsou podle českých zákonů na úrovni 50 dB (den) a 40 dB (noc). Tyto limity dodrží větrné elektrárny zcela bez problémů. (Jak lze ověřit hladiny hlukových emisí?)

2.1. Vliv na živočichy

Chování ptáků ale i divokých zvířat v blízkosti větrných elektráren je rozdílné: zatímco některé druhy ptáků staví svá hnízda částečně v úkrytu generátorových skříní, jiné druhy se okolí elektráren vyhýbají. Pokud jsou větrné elektrárny dobře naplánované a postavené, nepředstavují pro ptáky a zvířata vážné nebezpečí. K zajímavému závěru došel tříletý výzkum, který prováděl Ústav pro výzkum divoce žijících zvířat na Veterinární univerzitě v Hannoveru. Výzkum sledoval rozsáhlé území s celkem 36 větrnými elektrárnami i srovnávací oblasti, kde turbíny nejsou. Hustota zvěře na území s elektrárnami zůstávala stejná, nebo se dokonce zvyšovala. Z průzkumu mezi myslivci Dolního Saska vyšlo najevo, že nespatřují ve větrných elektrárnách vážné zdroje rušení domácí nízké zvěře.

2.2. Vliv na lidi

Technici vymysleli i jak zamezit nepříznivému vlivu pohyblivých stínů v obydlených lokalitách. Řešením je využití jednoduchého počítačového programu, který v denní době a za podmínek, které vznik podobných stínů vyvolávají, jednoduše na nezbytnou dobu elektrárnu vypne.

Větrný průmysl a jeho konzultanti - zvukoví inženýři - tvrdí, že slyšitelné a neslyšitelné zvukové efekty mají minimální dopad na člověka a že infrazvuk (0Hz - 20Hz, část zvuku o nízkých frekvencích) je neslyšitelný a slabý a tudíž nepředstavuje pro člověka riziko[2]. Tato zpráva nenašla žádnou epidemiologickou evidenci, která by potvrdila tuto domněnku.



Obr. č. 1 Velký poryv větru způsobil destrukci VtE.

Důležitá je vzdálenost od obydlí s ohledem na hlučnost. Jde o mechanický hluk (generátor, převodovka, natáčecí mechanismy, brzda) a o aerodynamický hluk (interakce proudícího vzduchu s povrchem listů rotoru, uvolňování vzduchových vírů za hranou listů). Obecně se udává jako přípustná hranice ve venkovním prostoru pro den (6-22 hod.) 50 dB a pro noc 40 dB.

Krajinný ráz patří k citlivým a často subjektivním hlediskům. Větrné elektrárny zvláště na vysokých tubusech nebo větrné farmy naruší vzhled krajiny. Nelze učít jednotný závazný postup a vždy bude záviset na stanovisku příslušných orgánů ochrany přírody a krajiny.

3. Princip VtE

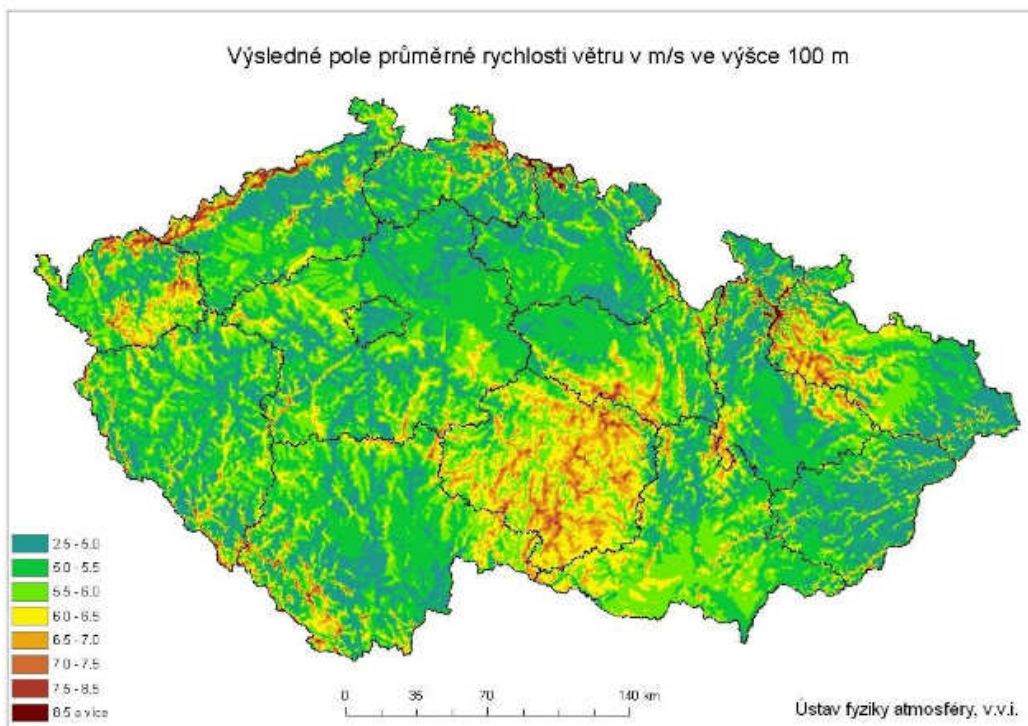
Otáčivý pohyb naší planety, vliv slunečního záření a rozdíly atmosférického tlaku způsobují vlivem nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu vítr, který vzniká v atmosféře. Teplý vzduch se vlivem sluneční energie ohřívá a stoupá vzhůru do atmosféry, kde se kondenzuje a ochlazený vzduch se vrací zpět k zemské kůře. Také vodní plochy způsobují silné proudění vzduchu nad mořem i pevninou. Tím vzniká proudění vzduchu neboli vítr. Ten působí aerodynamickými silami na listy rotoru[4]. Otáčivý pohyb rotoru otáčí hřídel generátoru a ta převádí rotační energii větru, na energii mechanickou. Ta je poté prostřednictvím generátoru, který je zdrojem elektrické energie předávána a transformována na odpovídající úroveň a napojena na elektrizační soustavu. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Je proto třeba zajistit efektivní a rychle pracující regulaci výkonu rotoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení větrné elektrárny. Obsluha větrné elektrárny je automatická. Životnost nové větrné elektrárny se udává 20 let od uvedení do provozu.

Technicky využitelný potenciál energie větru se odhaduje na 26 000 TWh za rok[1].

3.1. Provoz VtE

Výroba a provoz větrných elektráren v poslední době zaznamenal velký pokrok. Výhoda jsou nízké náklady na provoz tím, že energie větru je zcela zdarma, teda prozatím. I když ČR nemá ideální podmínky větru, jako to mají přímořské státy, ale i tak se stal v horských oblastech převážně nad 600 m.n.m. vhodnou lokací. V některých státech Evropské unie je tento trend, ještě rapidnější. Například Německo v posledních letech zvýšilo svůj instalovaný výkon na konci roku 2010 na neuvěřitelných 27 214MW[4]. EU chce s tímto trendem dále pokračovat a počítá se, že za 8 let se zvýší produkce elektrické energie z větrných elektráren na desetinásobek. Skutečností však nastává otázka, už ne tak příjemná pro investory a to jsou negativní vlivy VtE.

Postupem času, kdy přibývali výstavby VtE v České Republice. Vystala otázka, v jakých lokalitách je nejvýnosnější větrnou elektrárnu postavit. Neboli, kde dosahuje rychlost větru vhodných rychlostí. Samozřejmě jedná se o nejvyšší celoroční průměrnou hodnotu rychlosti větru. Ve spolupráci s ČHMÚ a Ústavem fyziky atmosféry vznikly tzv. Větrné mapy. Podle těchto map lze stanovit vhodnou oblast s dostatečnou roční rychlostí větru a získat tak vyšší účinnost a také zisk.



Obr. č. 2 Výsledné pole průměrné rychlosti větru v m/s ve výšce 100m

3.2. Přínosy a zápory VtE

- Jde o čistě obnovitelný zdroj s nulovou produkcí CO₂, žádný spalovací proces, tudíž žádný prach, popílek ani SO₂. Neprodukuje odpad (struska, popel, jaderný odpad). Nulová spotřeba vody. Nijak neohrožuje obyvatelstvo.
- U nových moderních typů je vysoká účinnost, vzhledem starým uhelným elektrárnám
- Nízké náklady na likvidaci a bez následku v krajině
- Krátká doba návratnosti energie co se týče energie spotřebované na výrobu cca 4 – 6 měsíců.
- Splňují veškeré hygienické nároky.
- Zvyšují nezávislost ČR na dodávce energie ze zahraničí.
- Jedna VtE o výkonu 2MW vyrobí ročně 4 430MWh, to odpovídá spotřebě 244 000 tun spáleného uhlí, tzn. 245 000 tun CO₂.
- Rychle najetí a zastavení.
- V podmínkách ČR se jedna o nejnižší výkupní cenu OZE. Jejíž hodnota se nejvíc blíží výkupní ceně silové elektřiny.

Nevýhody VtE

- Rušení elektromagnetického pole (např. televizní vlny).
- Vysoká hlučnost.
- Velká zastavěná plocha.
- Ekologické problémy (nebezpečí úrazu ptáků, narušení zvířecích koridorů).
- Vysoké pořizovací náklady.
- Nestálost dodávaného výkonu do sítě.

4. Rozdělení VtE

Z hlediska dnešního pojetí se podle výkonu větrné elektrárny (VtE) dělí na[11]:

- malé VTE do výkonu 40 kW,
- střední VTE o výkonu od 40 do 500 kW,
- velké VTE o výkonu od 500 kW výše.

Vzorec pro výpočet výkonu větrné elektrárny[15]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \quad (1)$$

Pro představu jak těžké jednotlivé části mohou být[5]:

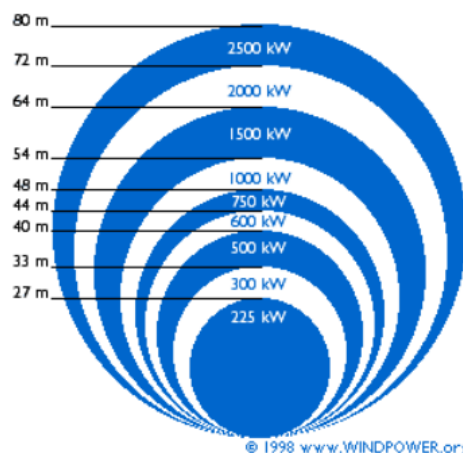
- hmotnost gondoly – 68 tun
- hmotnost rotoru – 38 tun
- hmotnost stožáru 225 tun
- 1 104 tun betonu
- 40 tun ocelové armovací výztuže
- celková hmotnost betonového základu 1 144 tun

4.1. Rozdělení podle typu

Dnešní moderní větrné turbíny můžeme rozdělit podle dvou základních principů.

1. Prvním z nich je turbína s horizontální osou nazývané HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) [2]. V současnosti asi nejvíc podporovaná, ale i využívaná v praxi. Kvůli dobrým výkonům a technickým parametrům, kterých takto stavěna turbína dosahuje.

2. Druhým typem je turbína s vertikální osou popsána zkratkou VAWT (Vertical Axis Wind Turbine).



Obr. č. 2 Závislost jmenovitého výkonu V_{tE} na průměru rotoru.

4.2. Rozdělení podle aerodynamického principu

Vztlakové s vodorovnou osou otáčení

Vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. americký větrný motor). Při stejném průměru rotoru v zásadě platí nepřímá závislost počtu listů a frekvence otáčení. Moderní elektrárny mají obvykle tři listy, byly však vyvinuty i typy s jediným nebo se dvěma listy.

Odporové

Pracují na vztlakovém principu, kdy existují také elektrárny se svislou osou otáčení, některé pracují na odporovém principu (typ Savonius) nebo na vztlakovém principu (typ Darrieus) [9]. Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztlakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti, není je třeba natáčet do směru převládajícího větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem, to je i menší rychlost větru. V praxi se téměř nepoužívají.

Systém natáčení do směru větru

- Ocasní plocha - hlavně u mikroelektráren, příp. malých elektráren - jednoduché mechanické řešení
- Boční pomocné rotory - malé a střední elektrárny
- Natáčení pomocnými motory - střední a velké elektrárny

4.3. Elektrické generátory

Stejnoseměrné

Jsou vhodné pouze pro mikroelektrárny, které produkují stejnosměrné napětí 12 nebo 24 V.

Asynchronní

Produkují střídavý proud a napětí => jsou připojitelné k síti. Nevyžadují složitý připojovací systém - pouze se sledují, otáčky což rozhoduje o okamžiku připojení k síti.

Synchronní

Jsou vhodné pro malé, střední i velké větrné elektrárny - mají velkou účinnost. Mnohapolové generátory jsou schopny pracovat s velkým rozsahem rychlostí větru i bez převodovky.

4.4. Regulace výkonu

Regulace Stali (pasivní)

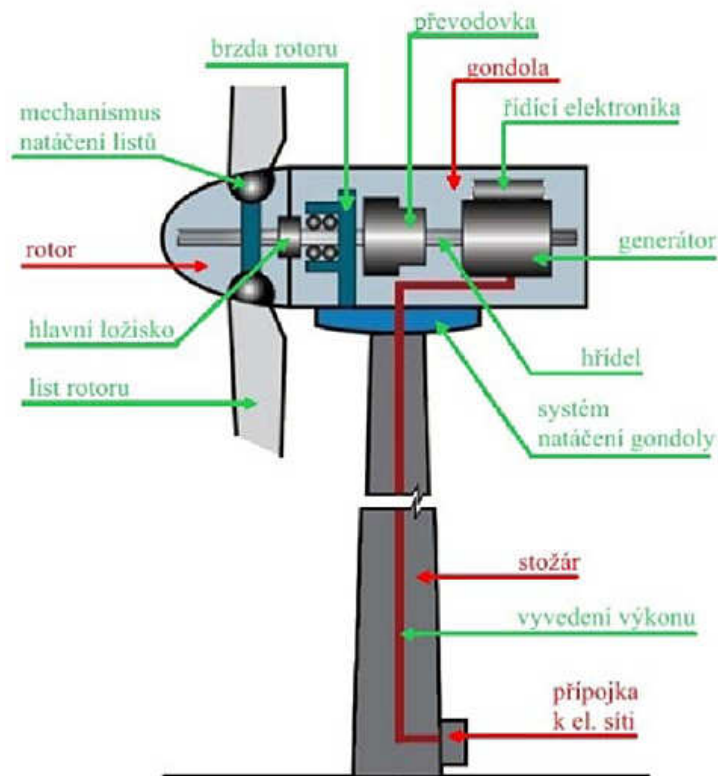
Rotor elektrárny má pevné listy a pro regulaci využívá odtržení proudnice vzduchu od listu rotoru při určité rychlosti větru. Po odtržení dojde ke snížení výkonu. Výhody jsou o něco vyšší výroba elektrické energie při vyšších rychlostech větru s větrnými nárazy a nižší pořizovací náklady. V současné době se používá i aktivní varianta regulace typu Stali, která spočívá v mírném pomalém aktivním natáčení listů v závislosti na okamžitých klimatických podmínkách, např. hustotě vzduchu[16].

Regulace Pitch (aktivní)

Využívá natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větru tak, aby byl celkový náběh větrného proudu v daném okamžiku optimální (dosažení nejvyšší výroby). Výhodou je vyšší výroba elektrické energie zejména při nižších rychlostech větru, kdy se optimalizace projeví nejvíce. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

5. Jednotlivé části VtE

Co všechno tvoří větrnou elektrárnu? Věž, gondola, generátor, turbína, převodovka a další části[13].



Obr. č. 3 Jednotlivé části VtE

5.1. Věž

Nejčastěji ocelový tubus, který v dnešní době standardně dosahuje výšky 40 až 100 metrů. Stožár je vyráběn kónicky směrem nahoru tím se zlepšují statické, ale i dynamické vlastnosti. U větších VtE vnitřní část tubusu, je vybavena žebříkem. Stožár se skládá z jednotlivých, samostatných komponentu dlouhých 20 až 30 metrů, které na sebe perfektně přilehají, tak aby aerodynamický odpor byl co nejmenší[2]. Hlavním důvodem proč se staví vysoké stožáry je vyšší rychlost větru a ochrana proti turbulentním vlivům, které vznikají na nerovnosti zemského povrchu.

Velký důraz je kladen na dimenzování těchto věží, které musí odolat nejen povětrnostním podmínkám, ale taky nosnosti celého soustrojí větrné elektrárny. U všech VtE především však u rychloběžných je problém ve vzájemné interakci komponentů, které mohou vést až k mechanické rezonanci. Ty potom mohou následně způsobit větší namáhání nebo v horším případě destrukci celého zařízení. U menších VtE se pak používají kotvené tyčové stožáry[2]. Novým trendem je pak výroba betonových stožárů. Přivětším množstvím VtE v dané lokalitě je to ekonomicky nejvýhodnější a co se týče pevnosti plně dostačující. Stožár se vyrábí z tzv. betonových prefabrikátu, které jsou ve tvaru poloskruží a ty jsou postupně kompletovány do sebe a jako výztuha jsou použita ocelová lana, která jsou předepjatá a vedou vnitřkem betonových skruží[7].

5.2. Gondola

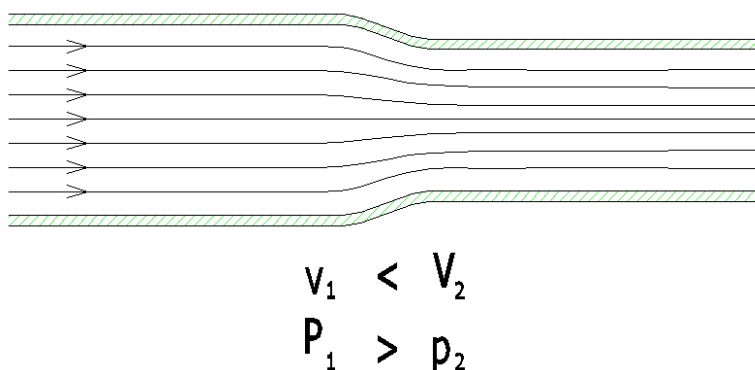
Je umístěna na vrcholu věže neboli stožáru. Je to srdce větrné elektrárny, tvoří ji bytelná kovová kostra ve které se skrývá generátor, převodovka, hnací hřídel, ložiska a další. Hlavní funkcí gondoly je natáčení lopatek kolmo po směru větru, kvůli největší účinnosti vztakového principu. Jsou dva druhy konstrukcí jeden z nich je DOWNwind, kdy je konstrukce turbíny situována do zadní části gondoly a sám vítr si natočí gondolu podle směru větru.

Druhý typ konstrukce je UPwind, kdy je turbína vepředu gondoly a má směrové kormidlo, které natáčí gondolu nebo samostatný mechanismus, nějaký elektromotor, který dostává neustále informace z čidla umístěného na vršku gondole o stavu rychlosti a směru větru. Podle toho pak vyhodnocuje, jak má gondolu natočit. Lze i využívat toho, že při velkých rychlostech větru, nebo pro menší výkon turbíny natočíme turbínu, tak aby nebyla kolmo ve směru proudění vzduchu. To však způsobuje větší namáhání materiálu a tudíž, nelze toho využívat ve velké míře. Soustrojí je vybaveno tlumiči vibrací, aby nedocházelo k přenosu na ostatní zařízení, především pak na stožár.

5.3. Rotor

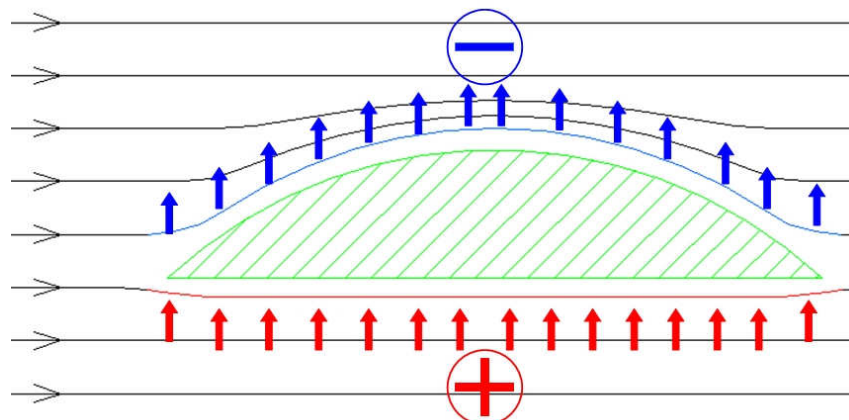
Může mít několik druhu provedení a odlišných tvarů. Liší se taky podle počtu listů od 1-4 nejčastěji se však setkáme se 3 listy rotoru. Existují také mnoholopátkové rotory kde jich může být až 150, ale ty nejsou až tak používané. Důležitým aspektem je také, na jakém principu rotor pracuje, v dřívějších dobách se používali vrtule odporové, které neměli příliš velkou účinnost. S rozvojem leteckého průmyslu se přišlo na to, že výhodnější je používat rotor podobný leteckému křídlu, kdy jeho princip přechází z odporového na vztakový. Tím se zvýšila i jeho účinnost na 45%.

Abychom, vysvětlili podstatu vztaku, musíme prozkoumat fyzikální proudění vzduchu. Představme si, že máme zúženou trubici ve, které proudí vzduch. V zúženém místě dochází ke zrychlení proudění vzduchu a tím pádem i ke snížení tlaku[3].



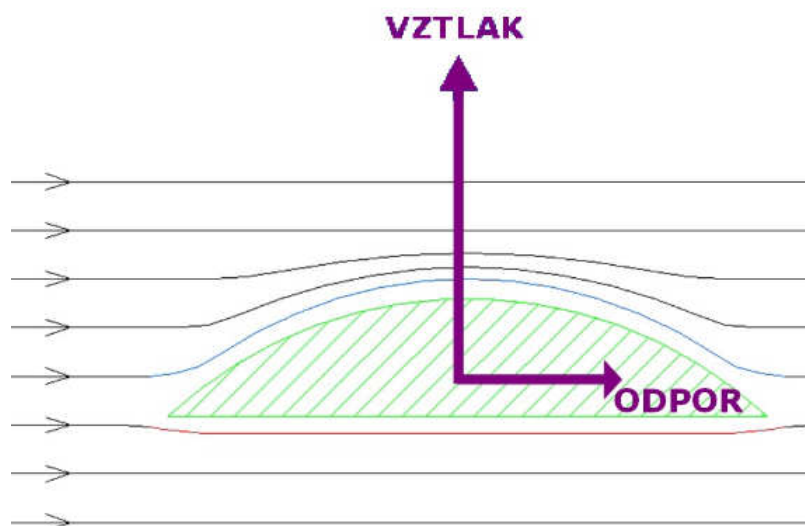
Obr. č. 5 Proudění v zúžené trubici. V zúžení roste rychlost proudění

To znamená, když například do proudění vzduchu vložíme kruhovou výseč, jak je tomu na obrázku. Předpoklad, pokud ve stejný okamžik rychlost vzduchu před tělesem je stejná a rozděljuje se na červenou a modrou proudnici a zase se za stejný časový interval spolu spojí za tělesem, kde červená proudnice je kratší, znamená to že, rychlost proudění modré proudnice musela být vyšší než rychlost červené proudnice. Jak už jsem zmiňoval vyšší rychlost, znamená taky nižší tlak. Z tohoto důvodu máme rozdílný tlak pod tělesem a nad tělesem.



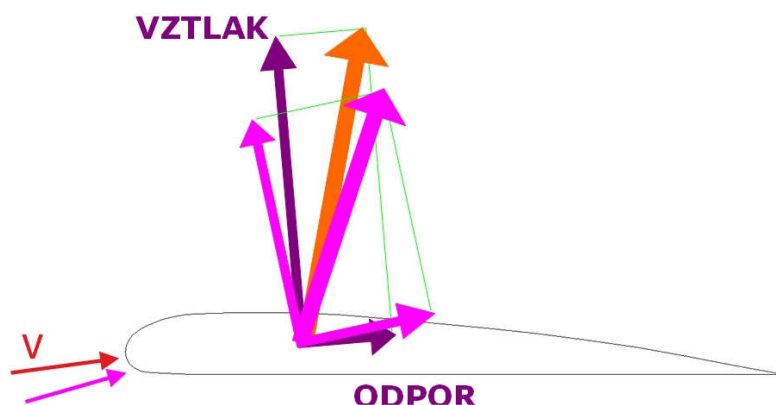
Obr. č. 6 Nad profilem vzniká podtlak, pod profilem pak přetlak. Na obrázku je také znázorněna orientace tlakových polí.

Pod profilem nám vzniká přetlak a nad profilem podtlak. Po sečtení těchto sil získáváme jen jedinou sílu a té se říká vztlak, jak můžete vidět na obrázku. Samozřejmě vzniká také oporová síla, ale ta je o mnoho menší než vztlaková.



Obr. č. 7 Na profilu, který je umístěn v proudu vzduchu vzniká i oporová síla.

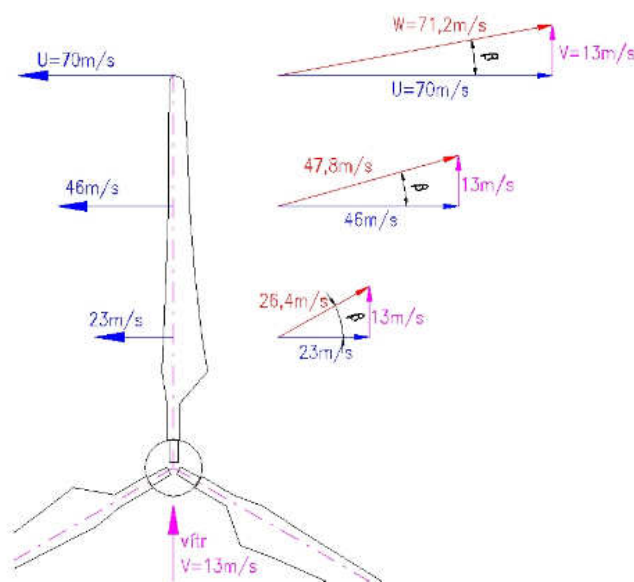
Na obrázku vidíte list rotoru a vztlakové síly, které působí na něj. Rozhodujícím hlediskem je, že vztlak je vždy kolmý na nabíhající proud vzduchu. Proto i malá odchylka v natočení lopatek může způsobit menší účinnost stroje.



Obr. č. 8 Pokud se jen trochu změní úhel nabíhajícího proudu vzduchu (světle fialová), mění se směr působení vztlaku (vztlak je vždy kolmý na nabíhající proud vzduchu), jeho velikost a také směr a velikost odporu. Výsledná síla má pak při stejném působišti jiný směr a velikost.

Teorie vztlaku je mnohem složitější, patří k ní třeba teorie vírů, ale není, až tak podstatná pro tento výklad.

Pro větrnou elektrárnu je důležitá aerodynamika rotoru. Podle obrázku můžete vidět, že obvodová rychlost lopatek u středu a na konci rotoru není stejná. Jednoduchým vektorovým součtem lze vypočítat rychlost nabíhajícího proudu vzduchu na lopatku listu rotoru. Po celé délce rotoru se mění jeho obvodová rychlost a úhel náběžného proudu vzduchu. U aerodynamiky je důležitý povrch tělesa, jde především o to, že čím hladší a dobře tvarovaný tvar, tím lepší má obtékání vzduchu a odpor. Takové vlastnosti se testují v aerodynamickém tunelu.



Obr. č. 9 Výsledná rychlost nabíhajícího proudu vzduchu na list větrné elektrárny se vektorově skládá

Není tomu dávno, kdy se rotory vyráběly z kvalitního měkkého dřeva. Doba však pokročila a výrobní technologie taky. V dnešní době se listy rotorů vyrábí z kompozitové skořepiny[8]. Uvnitř skořepiny je přepážka, která slouží jako vyztužení. Celý list je vyroben z několika laminátových vrstev, skelné tkaniny a pro tuhost z tvrzené pěny. V některých případech se můžeme také setkat s kevlarom nebo přidavkem uhlíku. Můžeme se dokonce setkat s využitím některých druhů přírodní pryskyřice s vysokou odolností. S rozvojem VtE se taky začala řešit větší ochrana proti přírodním živlům. Je totiž velice finančně náročné opravovat tyto škody a odstavovat celou turbínu. Proto jsou prováděny stovky testů než je VtE vůbec zkompletována.

Pojišťovny, zákazníci kladou stále větší důraz na výrobce a jejich ochranu proti takovým vlivům. Například ochrana proti bleskům firma LM Glasfiber vyvinula verzi ochrany proti blesku[8]. Na obou stranách listu jsou umístěny tzv. receptory blesku, ty zaručují jejich bezpečné svedení a ochranu listu před poškozením. Námraza na rotoru je taky velice nebezpečná snižuje výkon a ohrožuje okolí. V takto postižených lokalitách lze listy rotoru i tepelně vyhřívat. To je však problém především v severských státech.



Obr. č. 10 Negativní forma pro laminování rotorového listu. Na fotografii je vidět včetně nosného rámu a technologií pro vakuování.

5.4. Generátor

Problémem VtE je nestálost výkonu. Ten se samozřejmě řídí podle rychlosti větru. Během roku se průměrné hodnoty větru neustále mění, proto je problém se stálou výrobou elektrické energie.

Nejčastější rychlost otáčení rotoru je mezi 15 až 50 otáčkách za minutu. Nejvhodnější pro tento úkol jsou asynchronní motory. Pomocí převodů, které se dají za chodu měnit, na různé poměry záleží podle otáček rotoru. Převodové skříně mohou být jednostupňové, dvojstupňové, ale i více stupňové pro ideální a široký rozsah poměru mezi rotorem a asynchronním generátorem.

V praxi se nejvíce setkáme se čtyřpólovým asynchronním generátorem, který vyžaduje 1500 ot/min-1. Toho je právě docíleno vhodným převodovým poměrem. Je využito generátory s odděleným statorovým vinutím, které mají rozdílný počet pólů, záleží podle zapojení. Tyto zapojení nám dovolují měnit otáčky motoru, tak aby co nejvíc vyhovovali podmínkám větru[2]. Lze tedy shrnout, že se vyrábějí motory s jedním, dvěma nebo třemi vinutími o čtyřech, šesti a osmi pólech. Dalším jiným způsobem regulace otáček jsou nepřímé měniče kmitočtu a střídače s pulsně-šířkovou modulací.

Několik důležitých vzorců, které slouží k výpočtu jednotlivých parametrů VtE.

Rychlost větru je funkcí rychlosti proudění v , hustoty vzduchu ρ a velikosti průtočné plochy A [2].

$$P_v = A \cdot \rho \frac{v^3}{2} \quad (2)$$

Momentový činitel:

$$c_m = \frac{M}{r \cdot A \frac{v^3}{2} \cdot \rho} \quad (3)$$

Výkonový činitel:

$$c_p = \frac{P}{A \cdot \rho \frac{v^3}{2}} \quad (4)$$

Činitel rychloběžnosti:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{v} \quad (5)$$

6. Připojení elektrárny k síti

I větrné elektrárny o výkonu v řádu několika mega-wattů jsou ve srovnání s elektrárnami na fosilní paliva jen malé zdroje elektřiny. Proto se nepřipojují přímo k přenosové soustavě, ale do lokální distribuční soustavy. Velké elektrárny v řádu několika mega-wattů do rozvodné soustavy 22KV což už je soustava vysokého napětí. Menší o výkonu několika desítkách kilo-wattů, pak do rozvodu nízkého napětí. Podmínky při jejich provozu, tak spadají do kompetence místních distribučních provozovatelů. Při schvalování projektů nových zdrojů VtE se společnosti řídí tzv. kodexem distribučních sítí, který schvaluje Energetický regulační úřad (ERÚ) [2]. Podle dané situace může úřad buď podmínky připojení zmírnit (lze udělit výjimku), nebo naopak zpřísnit. Při připojení totiž vznikají tzv. zpětné vlivy, které působí na elektrizační síť.

6.1. Zpětné vlivy a kvalita elektřiny

Zpětné vlivy jsou nežádoucím jevem, které ovlivňují přenosovou soustavu. Vznikají při nesouměrném dodávaném výkonu do sítě, nebo při změně zatížení sítě. Proto musíme neustále elektrizační síť sledovat a regulovat podle potřeb odběratelů[2].

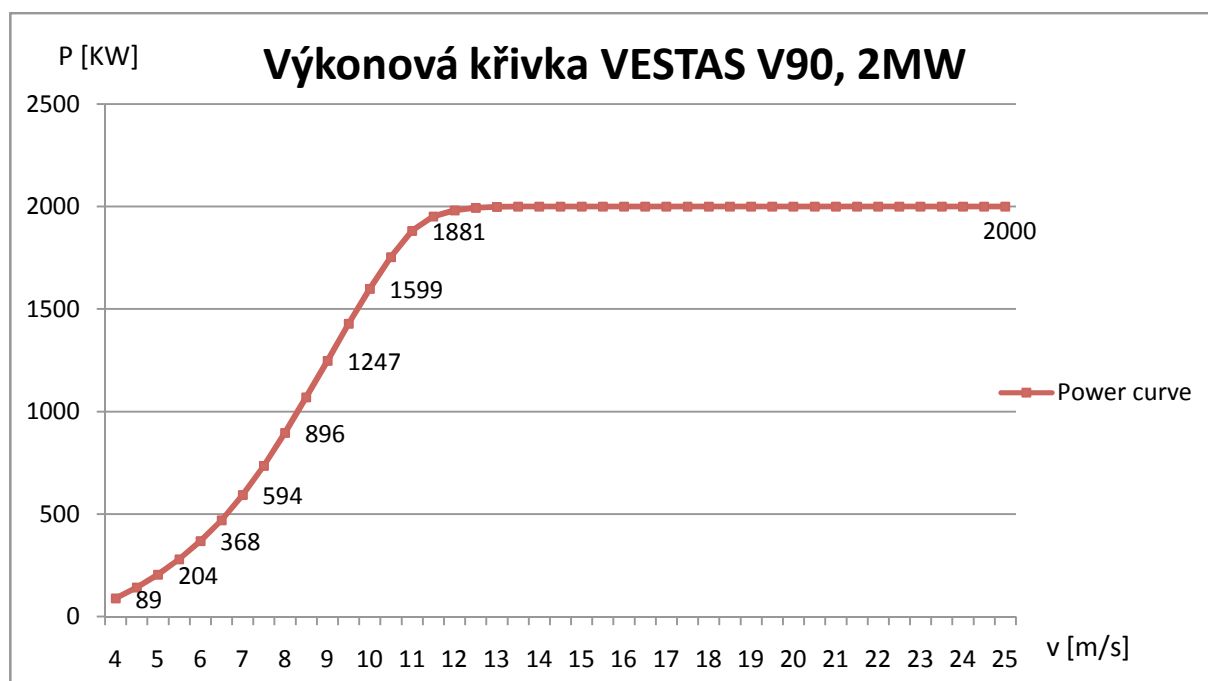
Spotřební zařízení jsou připojena a provozována v elektrizační soustavě. Jsou vyrobena s předpokladem, že elektrizační soustava má pevně stanovené parametry, které kolísají v rozmezí několika procent jmenovitých parametrů sítě. Je-li tomu jinak je z pohledu uživatele tato dodávka elektrické energie nekvalitní. Proto je velký důraz kladen na sledování především úbytku napětí a kolísání napětí v síti.

7. Srovnání předpokladu větrného potenciálu oproti skutečnosti

Před každou stavbou VtE se provádí měření potenciálu větru v dané lokalitě. Měření slouží k vypracování posudku, zda je daná lokalita vhodná pro výstavbu větrné elektrárny. Takové měření se provádí v dlouhodobém měřítku například jeden rok. Z vypracované zprávy se pak posoudí jestli má daná lokalita správný dlouhodobý potenciál větru. Proto také vznikají tzv. větrné mapy, které slouží k lepší orientaci, větrných koridorů v ČR. Tyto mapy jsou neustále aktualizovány, sítí čidel rychlosti větru, které jsou rozmístěny po celé ČR. Podle nich lze přesně určit, která místa u nás mají nejlepší perspektivu pro výstavbu VtE. Při projektování VtE z pohledu ekonomické stránky se za přibližnou hranici výhodnosti stavby považuje průměrná roční rychlost větru na dané lokalitě ve výšce 100m nad zemí přibližně 6m/s. V konkrétních případech se může nepatrně rychlost lišit zaleží na náročnosti daného projektu. Při takových to průměrných rychlostech se při dnešních výkupních cenách energie z větru stavba vyplácí.

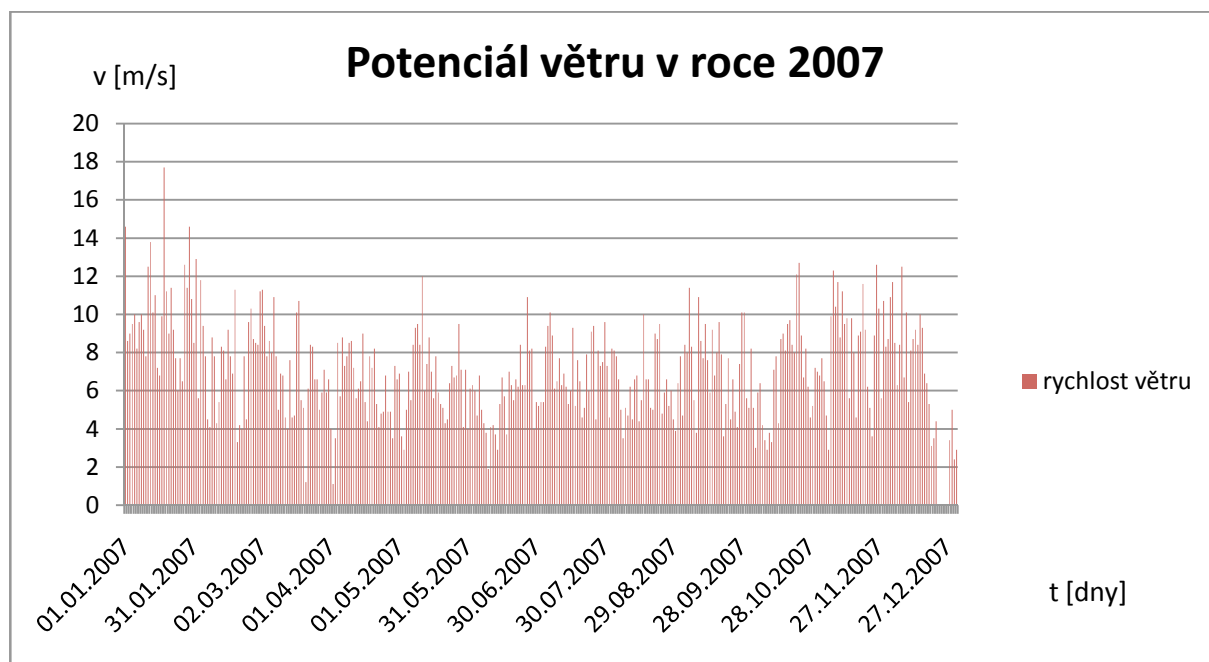
Dle studie ústavu fyziky atmosféry je v ČR větrný potenciál pro výstavbu VtE asi 2500MW. Reálné možnosti výstavby VtE jsou však limitovány řadou aspektů, například dostatečný odstup staveb VtE od obydlí. Podle UFA lze v ČR reálně postavit přibližně 1200 VtE o celkovém výkonu 2500MW[14], což znamená hustotu méně než 2 VtE na 100km². Při takové koncentraci VtE by výroba z větrné energie dosahovala asi 7% s celkové spotřeby elektrické energie v ČR. Proto nikdy v České Republice nebude větrná energetika jako primární zdroj energie, avšak může a to nezanedbatelným podílem pomoci na ekologické výrobě nevyčerpatelného zdroje elektrické energie.

V našem případě se jedná o měřenou lokalitu v Olomouckém kraji, která se nachází asi 20km od města Prostějov. Měření bylo prováděno pro elektrárnu typu VESTAS V90, 2MW.



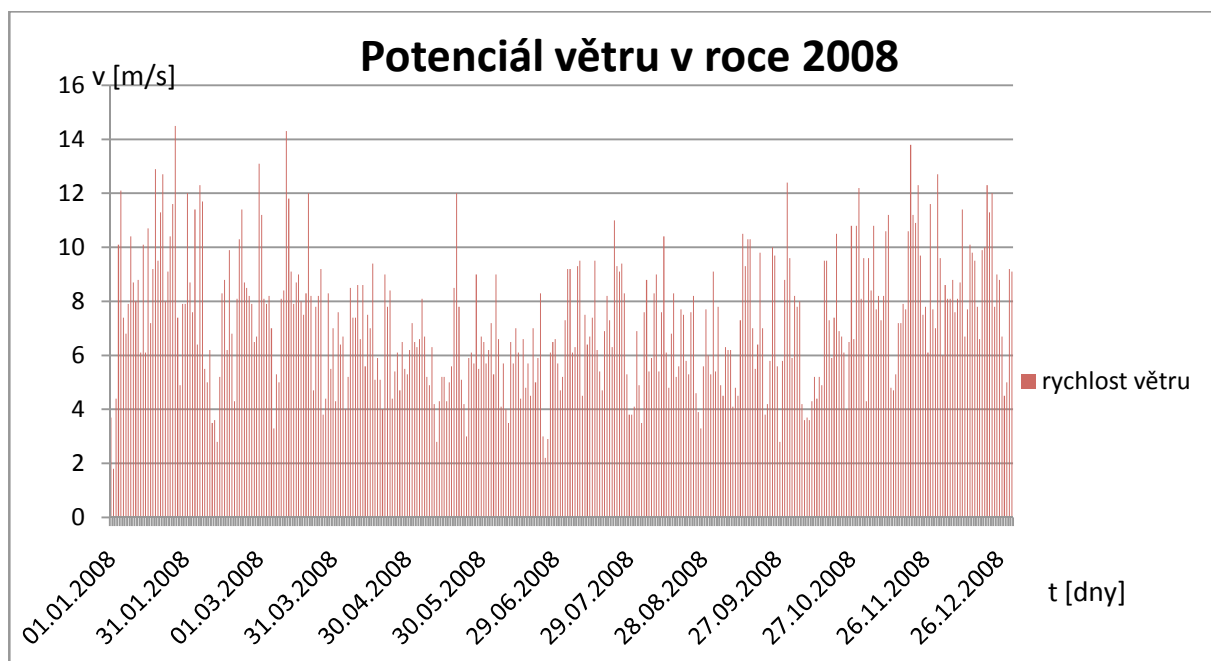
Obr. č. 11 Výkonová křivka elektrárny Vestas V90, 2MW.

Na grafu (č. 11) výkonové křivky je vidět, jak ovlivňuje rychlost větru výkon větrné elektrárny. Je patrné, že pokud bude průměrná rychlost 6 m/s bude výkon větrné elektrárny zhruba 370 kW, což činí asi 18,5% z celkového výkonu VtE.



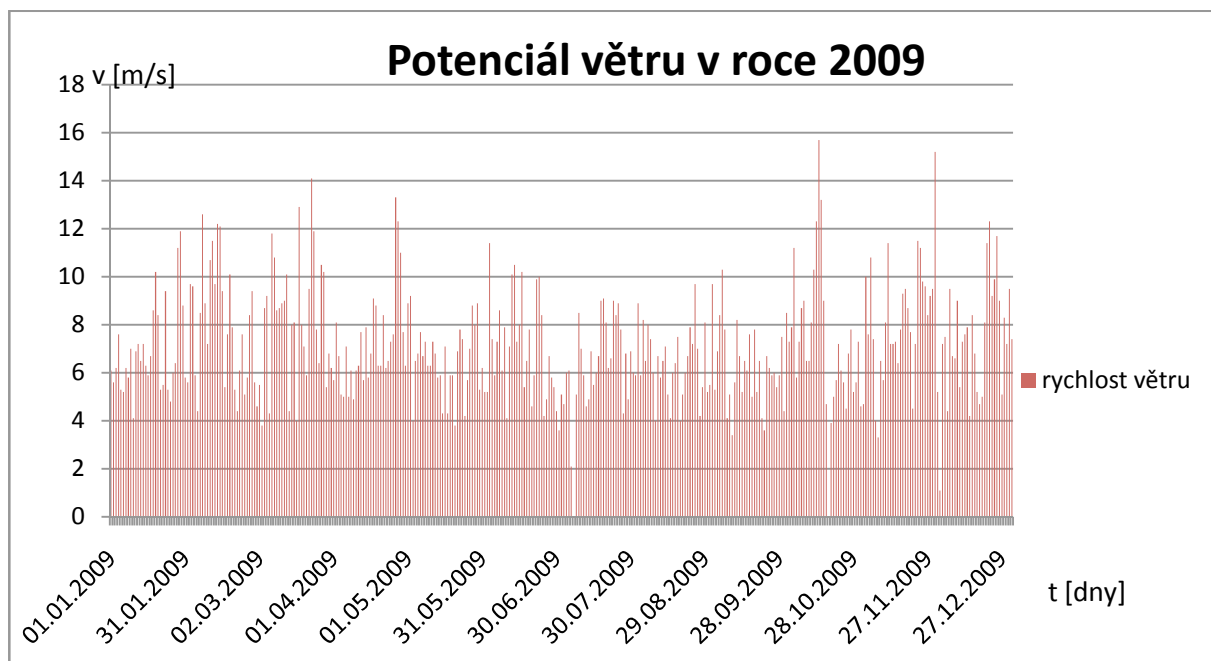
Obr. č. 12 Graf naměřených hodnoty větru ve výšce 105m

Na grafu (č. 12) jsou zřejmá data s větrné elektrárny, které byly naměřeny v roce 2007. Lze odečíst, jaké průměrné hodnoty dosahovala rychlost větru během dne. Podle grafu zjistíme že, ve dnech od 23.12 do 27.12. byla rychlost větru 0. Je taky možné že, vlivem námrazy či odstavením elektrárny z provozu byla data nenaměřena.



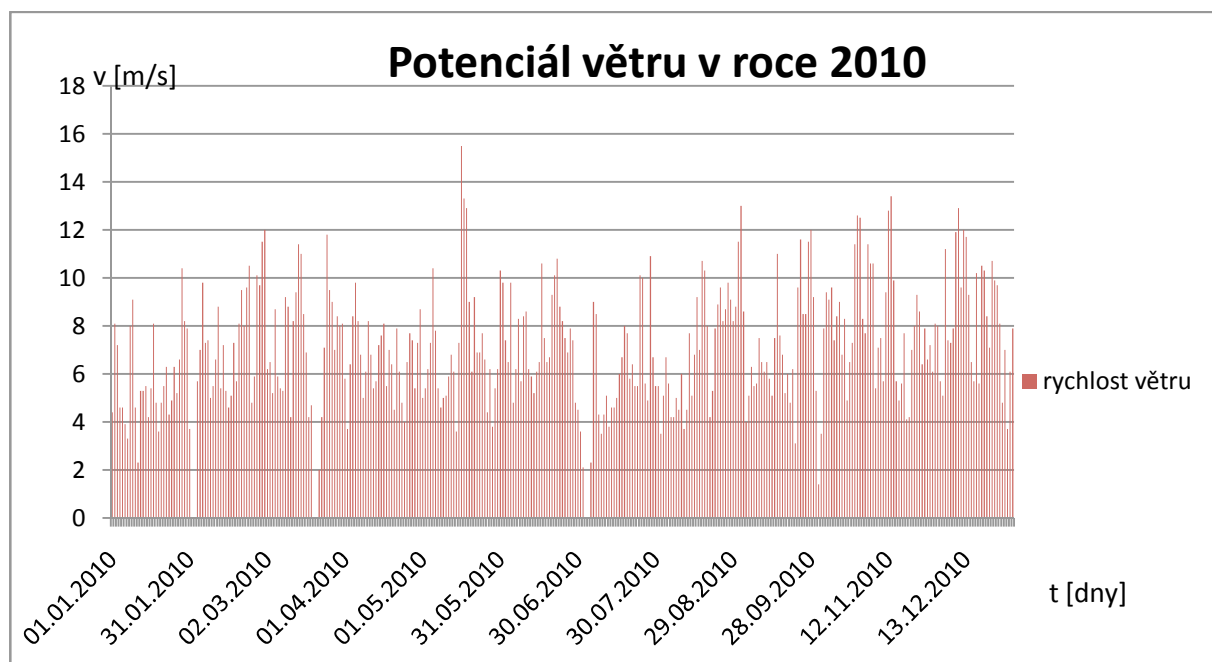
Obr. č. 13 Graf naměřených hodnoty větru ve výšce 105m v roce 2008.

Podle obrázku (č. 13) lze usoudit, že následující rok 2008 byl oproti roku 2007 mnohem příznivější, proto průměrná rychlost větru dosahovala okolo 7,28 m/s. Rok 2008 byl nadprůměrný pro celou ČR.



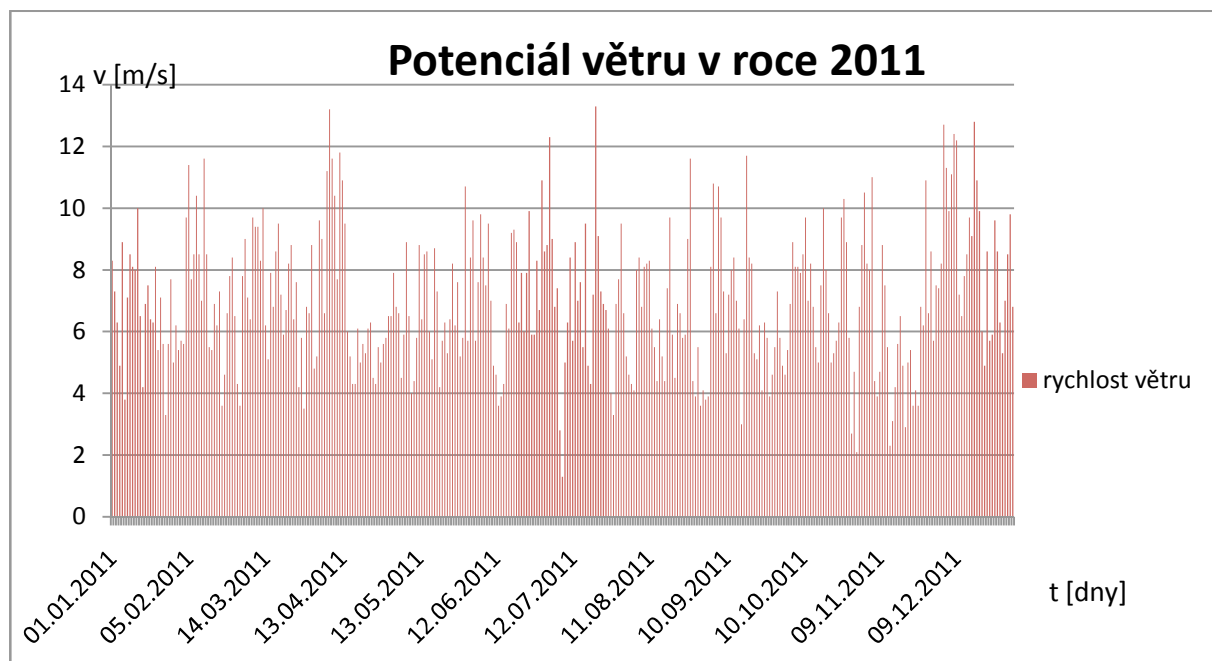
Obr. č. 14 Graf naměřených hodnoty větru ve výšce 105m v roce 2009.

V roce 2009 se situace trochu zhoršila, podle obrázku 14 vidíte menší hodnoty naměřeného větru. Průměrná hodnota větru dosahovala 7,13m/s.



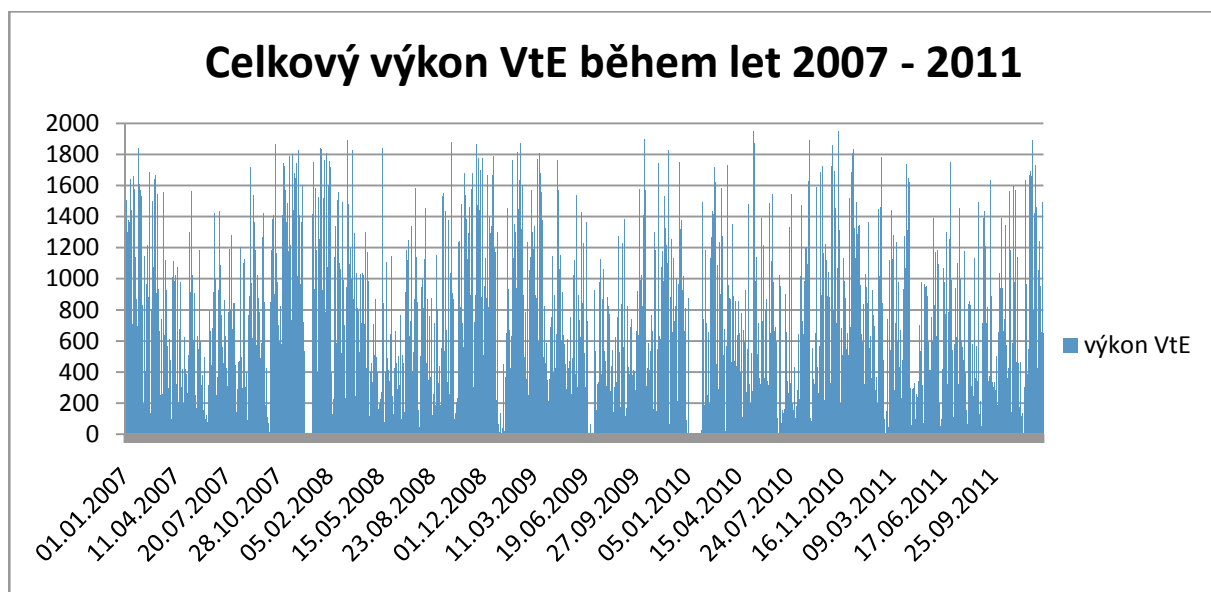
Obr. č. 15 Graf naměřených hodnoty větru ve výšce 105m v roce 2010.

V roce 2010 se hodnota průměrného větru dostala na pouhých 6,72m/s.



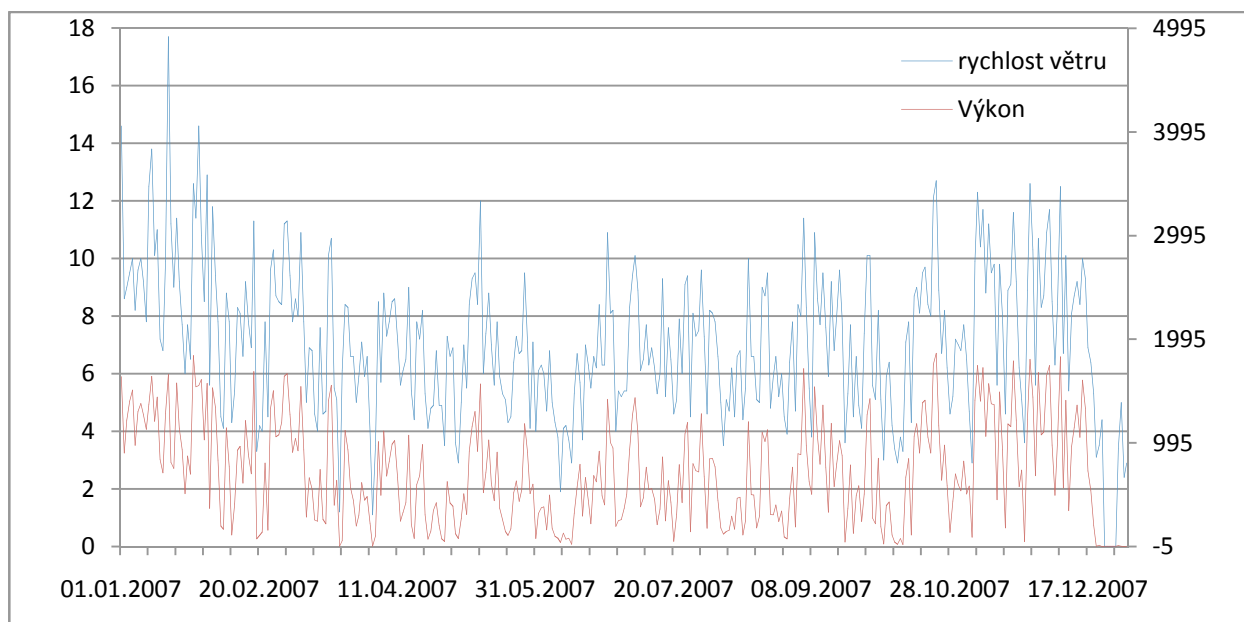
Obr. č. 16 Graf naměřených hodnoty větru ve výšce 105m v roce 2011.

Větrný potenciál v roce 2011 se takřka ztotožnil s předchozím rokem a výsledek byl 6,74m/s.



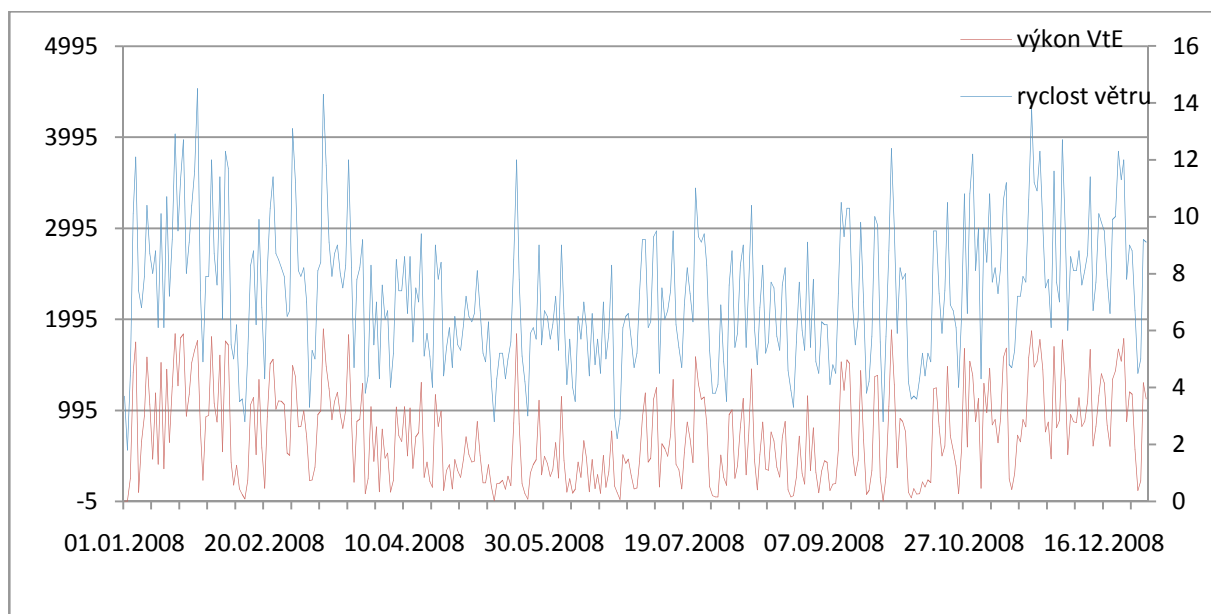
Obr. č. 17 Naměřené výkony během let 2007 a 2011.

Z hodnot naměřených během pěti let od roku 2007 do roku 2011 byl průměrný výkon VtE 651,24 kW. Což je asi pouhých 30% z celkového využitelného výkonu VtE.



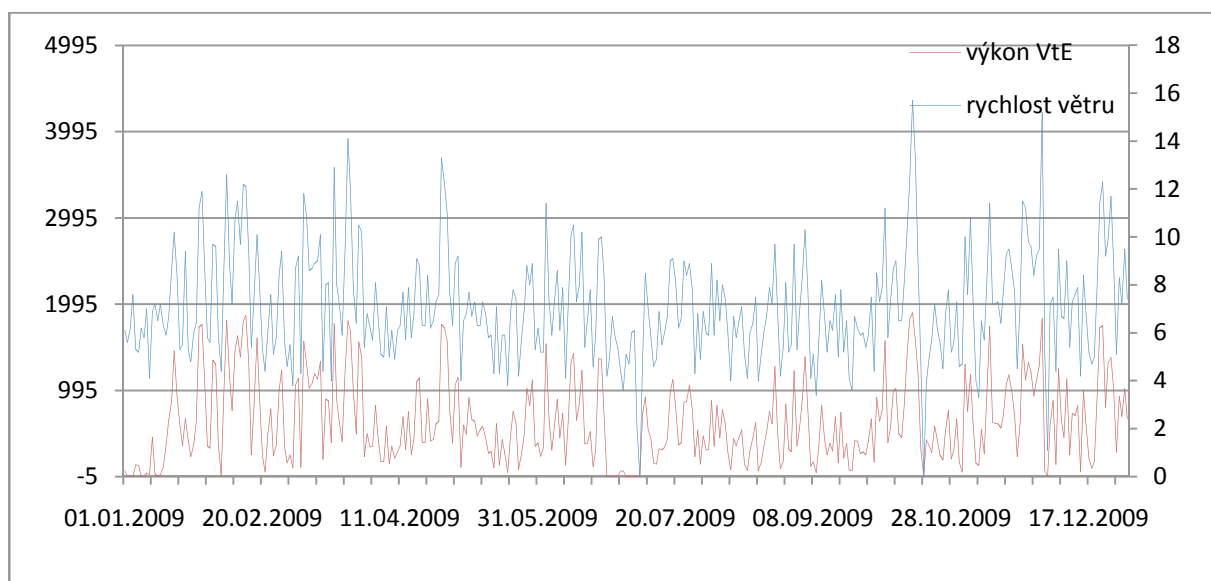
Obr. č. 18 Graf rychlosti větru a výkonu VtE v roce 2007.

Na obrázku (č. 18) můžete vidět jaký vliv má na rychlost větru na výkon VtE. Na začátku roku vidíte nadprůměrné hodnoty větru. Při takových rychlostech větru může dojít k mechanickému poškození VtE, v extrémních případech i destrukci celé větrné elektrárny.



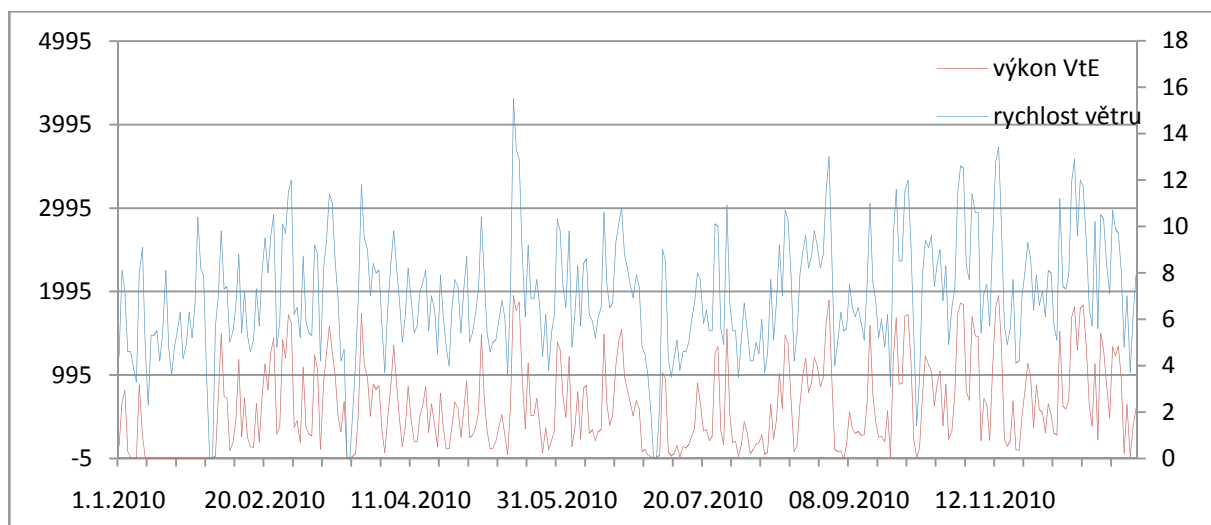
Obr. č. 19 Graf rychlosti větru a výkonu VtE v roce 2008.

Co se týče hodnot rychlosti větru, se rok 2008 stal průměrným.



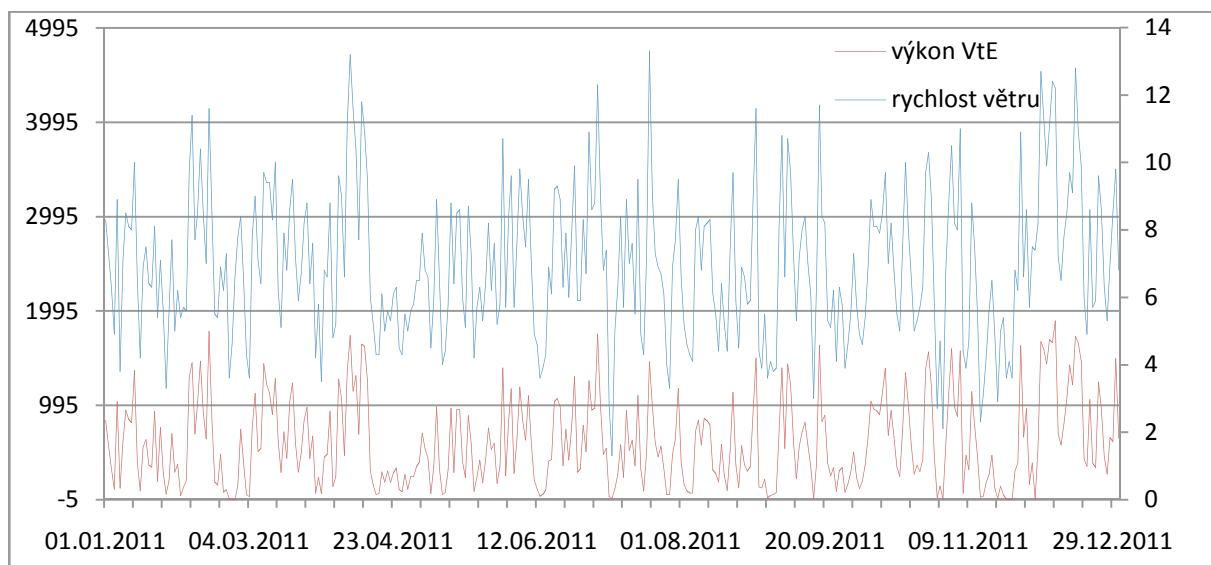
Obr. č. 20 Graf rychlosti větru a výkonu VtE v roce 2009.

Rok 2009, jak vidíte na obrázku (č. 20), nepřinesl nějak zázračné hodnoty, šlo spíše o průměrný rok dodaného výkonu do sítě.



Obr. č. 21 Graf rychlosti větru a výkonu VtE v roce 2010.

Na začátku roku 2010 lze vidět období, kdy VtE neprodukovala žádný výkon. Bohužel přesně nevíme, jaký problém nastal. Mohlo jít o poruchu na zařízení nebo taky o námrazu na rotoru VtE, protože se jedná o zimní měsíc.



Obr. č. 22 Graf rychlosti větru a výkonu VtE v roce 2011.

Na obrázku (č. 22) můžete pozorovat, jak křivka větru koresponduje s křivkou výkonu VtE. Ne vždy lze říci, že při nějaké hodnotě rychlosti větru je výkon VtE stejný. Tyto parametry ovlivňuje více faktorů například: teplota vzduchu, vlhkost, tlak vzduchu a další vlivy. Proto můžete vidět při vyšší rychlosti větru menší výkon VtE, než u předchozí.

8. Závěr

Cílem předkládané práce bylo vytvořit ucelený celek o výrobě elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů, taký nazývané zelenou energii a to prostřednictvím větrných elektráren. Práce obsahuje popis a funkci jednotlivých částí, ale také napomáhá vytvořit jakou si představu o dopadu a důsledků výroby elektrické energie z VtE. Především jsem se zaměřil na srovnání předpokladu větrného potenciálu, oproti skutečnosti na vybrané lokalitě.

Z měření, které bylo provedeno během období 2007, až 2011 vyplývá, že průměrná rychlost větru lokality v olomouckém kraji je 6,56m/s měření bylo provedeno ve výšce 55m nad zemí a následně přepočteno na výšku věže 105m, z posudku UFA plyne výsledek stejného měření, že průměrná rychlost na stejné lokalitě je 6,61m/s[14], posudek pracuje s daty dlouhodobého měření. Lze teda říci, že výsledky skutečných naměřených hodnot na elektrárně VESTAS a výsledky Ústavu Fyziky pro Atmosféru jsou takřka shodné. Nepatrnou odchylku mohlo způsobit, jiné místo měření nebo jiné proudy větrů v oblasti. Jak můžete vidět na obrázku (č. 17), při uvedených naměřených průměrných hodnotách výkonu během daného období se výkon elektrárny VESTAS, V90, 2MW ustálil na hodnotě 651,24 kW. Z toho vyplývá, že využití potenciálu výkonu dané elektrárny se pohybuje okolo 30%.

Větrná energie je nejlevnější energií z OZE, výjimku tvoří některé vodní elektrárny, těch ale není moc. Právě díky nízké ceně má větrná energie ve světě úspěch. Nijak nezatěžuje cenu elektřiny pro zákazníka. Výkupní cena elektřiny z VtE je 2,23 Kč/kWh cena platí pro rok 2011. Zatímco uhelné elektrárny mají výkupní cenu pod 2 Kč/kWh. Avšak v ceně uhelných elektráren nejsou připočtené další náklady s tím spojené, poškození krajiny, zdraví obyvatelstva atd., dostaneme se na cenu vyšší než u VtE. Podpora VtE je spojena s podporou výroby z fotovoltaických zdrojů, a tím zdražování ceny silové elektřiny u nás. Avšak toto tvrzení není pravdou, protože zatímco fotovoltaika ve své době rozkvětu mezi lety 2009 – 2010 patřila k těm nejdražším, výkupní cena se pohybovala kolem 12,50 Kč/kWh. U větrných elektráren byla nejnižší a to 2,25 Kč/kWh.

Evropa plánuje do roku 2030 obrovský rozvoj větrných elektráren, chce se dostat na úroveň 1100TWh elektřiny vyrobené z větru a do roku 2050 dokonce na 2000TWh. To by znamenalo, že pokud by se tento scénář vyplnil, bylo by v roce 2050 asi 50% veškeré vyrobené elektřiny z větrných elektráren. Sami uvidíme, jak to dopadne[14].

Literatura

- [1] Uwe Hallenga, Malá větrná elektrárna, ISBN 80-86167-27-5
- [2] Veverka, A.: Technika vysokých napětí, SNTL Praha, 1978
- [3] <http://csve.cz/cz/clanky/vznik-vztlaku/307>
- [4] <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html>
- [5] <http://csve.cz/clanky/betonovy-zaklad/305>
- [6] <http://csve.cz/cz/clanky/aerodynamika-rotoru-vetrne-elektrarny/308>
- [7] <http://csve.cz/cz/detail-kategorie/stozar/86>
- [8] <http://csve.cz/cz/clanky/konstrukce-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/311>
- [9] Heinz Schulz „Der Savonius Rotor“ Savonius rotor ISBN 80-86167-26-7
- [10] <http://www.quido.cz/objevy/vitr.htm>
- [11] <http://www.spvez.cz/pages/vitr.htm>
- [12] <http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/489/obnovitelne-zdroje/Vetrne%20elektrarny.pdf>
- [13] <http://www.aresico.com/cz/m/struktura-vetrne-elektrarny/>
- [14] Mgr. David Hanslian, Mgr. Jiří Hošek, RNDr. Josef Štekl, CSc. Odhad realizovatelného potenciálu VtE na území ČR http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/doc/potencial_ufa.pdf
- [15] <http://csve.cz/clanky/velikost-vetrne-elektrarny-a-jeji-vyvoj/110>
- [16] http://eso.vscht.cz/cache_data/41/www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/aze/8_AZE.pdf
- [17] <http://csve.cz/cz/clanky/vetrna-mapa/35>

Poznámka: *Internetové odkazy jsou platné ke dni 25.4.2012.*